HUJAN SEBAGAI MASUKAN DAN SUMBER PENCEMARAN AIR DALAM SISTEM HIDROLOGI KOTA

Sudarmadji*, M. Fakhrudin, Eko Harsono** dan Krisna Dewi*****

*Staf Pengajar Fak. Geografi UGM

**Puslitbang Limnologi-LIPI

***Alumnus Fak. Geologi UGM

ABSTRAK

Dalam penelitian kualitas air di Kota Cilegon tahun 1996 diperoleh indikasi bahwa terjadi pencemaran air sungai maupun airtanah di kota tersebut. Salah satu sumber yang menyebabkan adalah debu di permukaan tanah yang mengandung logam berat. Selain itu telah terjadi pencemaran yang bersumber langsung dari air hujan. Oleh sebab itu hujan pun dapat menyebabkan pencemaran air maupun pencemaran tanah, khususnya di daerah perkotaan. Berdasarkan temuan tersebut dikaji berbagai penelitian yang menyangkut kualitas air hujan di berbagai daerah lain dan kemungkinan faktor yang menyebabkannya.

Berbagai studi menunjukkan bahwa pencemaran udara di kota-kota besar, baik yang disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor maupun buangan gas dari pabrik telah mempengaruhi kualitas air hujan di daerah kota. Air hujan di daerah pantai juga terpengaruh oleh laut aktivitas. Di daerah gunungapi aktif air hujan juga dipengaruhi oleh aktivitas gunungapi tersebut. Masing-masing kondisi lingkungan tersebut di atas mempengaruhi komposisi air hujan.

Penelitian di Kotamadya Yogyakarta dan daerah perdesaan sekitarnya bertujuan mengkaitkan kualitas air hujan dengan sifat hujan di daerah tersebut. Sampel air hujan dikumpulkan dari penakar hujan melalui enam buah stasiun selama Bulan Februari sampai Maret 1996. Enam stasiun pengamatan hujan diambil dalam penelitian ini. Dua stasiun terletak di dalam kota (Kecamatan Gondomanan), dua buah stasiun terletak di sebelah timur laut kota (Kecamatan Ngemplak), dan dua buah stasiun terletak di sebelah baratdaya kota (Kecamatan Kasihan). Sampel air dianalisis di laboratorium dan hasilnya disajikan dalam bentuk tabel. Air hujan di daerah perdesaan, baik di sebelah selatan maupun di utara kota mempunyai kekeruhan, kadar SO_4, CO_2, dan Ca yang lebih rendah dibandingkan dengan air hujan di dalam kota, berarti kualitas air hujan di tengah kota lebih jelek daripada air hujan di daerah perdesaan.

Tebal hujan berpengaruh terhadap kadar zat kimia di dalam air hujan, makin tinggi tebal hujan makin rendah kadar zat kimia di dalamnya. Kekeruhan mempunyai korelasi positif dengan kadar Ca dan SO_4. Debu yang terbawa air hujan larut di dalam air hujan tersebut menyebabkan tingginya kadar Ca dan SO_4. Perbedaan kualitas air hujan di daerah sebelah utara kota dan di sebelah selatan kota disebabkan arah angin dominan pada saat penelitian (Januari- Maret 1996) ke arah baratdaya. Hal ini menyebabkan kadar zat kimia dalam air hujan di sebelah selatan kota lebih tinggi

dibandingkan dengan kadar zat kimia dalam air hujan di sebelah utara kota. Dengan hasil temuan tersebut di atas, maka hujan sebagai masukan dalam sistem hidrologi kota perlu diperhatikan, tidak hanya dari segi kuantitasnya tetapi juga dari segi kualitas atau komposisi airnya.

Kata kunci: air hujan, pencemaran air, hidrologi kota

PENDAHULUAN

a. Latar belakang penelitian

Dalam sistem hidrologi di daerah aliran sungai (DAS) hujan merupakan salah satu bentuk masukan ke dalam DAS itu, yang setelah melalui berbagai macam proses menghasilkan keluaran yang berupa aliran. Hujan dengan berbagai sifatnya (tebal, intensitas dan durasinya) menentukan *output* yang dihasilkannya, yang tercermin dalam bentuk hidrograf aliran. Selain itu, hujan dalam rantai siklus hidrologi terbentuk karena proses penguapan air laut diikuti dengan terbentuknya titik-titik air hujan karena proses kondensasi. Setelah persyaratan memenuhi, maka titik-titik air hujan tersebut jatuh sebagai hujan. Dalam proses terbentuknya titik-titik air hujan diperlukan inti kondensasi untuk menyatukan titik-titik air agar membentuk partikel yang besar.

Inti kondensasi tersebut dapat berupa butiran debu dan maupun debu lain yang mempunyai ukuran sangat kecil. Dalam proses awal terbentuknya hujan ini sudah masuk zat dari luar, yang menyebabkan air tidak lagi mempunyai komposisi sebagai H_2O murni (Manahan, 1977, Hem 1970). Dalam proses jatuhnya, ke permukaan bumi titik-titik air hujan melalui lapisan udara yang terdiri atas berbagai macam gas, antara lain oksigen, nitrogen, karbondioksida dan gas-gas lain. Apabila gas-gas tersebut sebagian terlarut di dalam air hujan, maka air hujan mengandung berbagai macam gas terlarut di dalamnya.

Aktivitas manusia dalam sehari-hari menghasilkan berbagai macam limbah, baik limbah dari kegiatan sehari-hari berupa limbah domestik, limbah industri, pertambangan dan pertanian. Bentuk limbah tersebut dapat berupa padat, cair maupun gas. Limbah dalam bentuk gas akan dibuang ke atmosfer, dan dengan bantuan angin, baik arah maupun kecepatannya maka limbah yang berbentuk gas tersebut akan dibawa ke tempat yang jauh dari sumbernya (Dix, 1981). Kegiatan di dalam kota

banyak menghasilkan limbah gas dari berbagai macam sumber, seperti industri dan transportasi. Dibandingkan dengan daerah perdesaan limbah gas yang dihasilkan juga lebih banyak. Lalu lintas kota tidak hanya menghasilkan gas, tetapi juga menimbulkan debu.

Pada prinsipnya kegiatan kota dapat menimbulkan pencemaran udara di daerah kota dan di daerah sekitarnya, yang kemudian dapat berpengaruh terhadap air hujan sehingga dapat menimbulkan pencemaran pada air hujan. Karena distribusi hujan menurut ruang dan waktu bervariasi, maka kadar pencemar di dalamnya juga mengikuti distribusi tersebut.

Yogyakarta merupakan salah satu contoh kota yang terus mengalami perkembangan dengan pesat, dengan segala aktivitas kota yang terjadi di dalamnya. Cilegon juga merupakan contoh kota industri yang berkembang Sudarmadji dkk (1997), menyatakan bahwa air hujan di daerah tersebut telah mengandung zat pencemar yang cukup tinggi dan didalamnya sudah terdeteksi adanya hujan buatan. Pencemaran udara terjadi di kota ini dan selanjutnya dapat berpengaruh terhadap kualitas air hujan di daerah tersebut. Oleh sebab itu penelitian mengenai pencemaran udara dan kualitas air hujan perlu dilakukan.

b. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk : 1) membandingkan dan mengkaji kualitas air hujan yang jatuh di dalam daerah perkotaan dengan kualitas air hujan yang jatuh di daerah perdesaan sekitarnya; 2) mengetahui dan menganalisis hubungan antara sifat hujan dengan parameter kualitas air hujan, baik hujan yang jatuh di dalam kota maupun yang jatuh di daerah perdesaan sekitarnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kualitas air hujan di berbagai kota ternyata sangat bervariasi, namun kota-kota yang mempunyai industri besar serta mempunyai kepadatan lalu lintas tinggi menunjukkan kualitas air hujan yang lebih buruk dibandingkan dengan kota-kota yang masih sedikit kegiatannya. Beberapa kota di Indonesia ternyata mempunyai kecenderungan yang sama. Di daerah kota kadar

beberapa zat kimia seperti NO_3 dalam air hujan cukup tinggi, namun demikian kadar SO_4 masih tergolong rendah. pH air hujan sudah menunjukkan sifat yang asam (Kantor Men. KLH, 1990).

Appello (1986) memperlihatkan hasil pengamatannya dari berbagai penelitian. Dari penelitiannya diketahui bahwa air hujan yang jatuh di kota-kota di Eropa, Amerika Serikat dan India memiliki kadar zat kimia yang cukup tinggi. Kota yang terletak di dekat pantai memiliki kadar klorida yang tinggi. Di Kota Yogyakarta, yang merupakan kota dengan ukuran lebih kecil daripada Surabaya maupun Jakarta telah dilakukan penelitian terhadap air hujan, bahkan tidak hanya di dalam kota, namum juga termasuk daerah luar kota. Hasil penelitian yang dilakukan Sudarmadji (1986) dan Asma Irma Setianingsih (1989) menunjukkan bahwa air hujan yang jatuh di pusat kota Yogyakarta cenderung mempunyai kadar CO_2 yang tinggi. Pengamatan di dalam kota tersebut menunjukkan kadar CO_2 yang jatuh di daerah Brontokusuman dan Catur Tunggal masing-masing sebesar 9,12 dan 7,60 mg/l. Dalam daerah yang sama Sudarmadji (1986) mendapatkan CO_2 air hujan di dalam kota berkisar antara 6,1 mg/l sampai 7,7 mg/l.

Air hujan yang jatuh di daerah luar kota cenderung mempunyai kadar pencemar yang lebih rendah dibandingkan dengan kadarnya dalam air hujan yang jatuh di daerah kota. Tentu saja yang dimaksudkan adalah daerah luar kota yang tidak memiliki industri yang membuang limbah gas. Air hujan di daerah pantai sangat dipengaruhi oleh aktivitas laut. Hal ini ditunjukkan dengan kualitasnya yang dicerminkan oleh kadar klorida, natrium dan kalium yang tinggi, yang semuanya bersumber dari air laut. Semakin jauh dari laut maka kadar zat kimia tersebut akan semakin berkurang. Pada daerah yang sama kadar klorida pada air hujan cenderung tinggi dibandingkan dengan kadar parameter yang lain (Junge dan Werby, 1958 *dalam* Hem 1970).

Air hujan yang jatuh di daerah gunungapi yang masih aktif diperkirakan memiliki kadar SO_4 yang tinggi, sebagai akibat aktivitas gunungapi tersebut. Hal ini memang tidak nampak secara mencolok. Namun demikian bila dibandingkan dengan kualitas air hujan yang jatuh di daerah sekitarnya menunjukkan bahwa kadar SO_4 di daerah dekat puncak gunungapi cenderung memiliki kadar SO_4 yang lebih tinggi

(Asma Irma Setianingsih, 1989). Secara spasial memang sudah terlihat bahwa terdapat perbedaan kualitas air hujan dari Parangtritis sampai Kaliurang.

CARA PENELITIAN

a. Data dan cara perolehannya

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder yaitu data kualitas air hujan dari berbagai tempat, khususnya di Pulau Jawa untuk membandingkan kaitan antara kualitas air hujan dengan sifat hujan. Penelitian ini dilakukan di Daerah Kotamadya Yogyakarta dan sekitarnya, yaitu di Kecamatan Kasihan, yang terletak di sebelah baratdaya mewakili daerah sebelah selatan Kotamadya Yogyakarta dan Kecamatan Ngemplak yang terletak di timurlaut mewakili daerah sebelah utara Kotamadya Yogyakarta. Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hujan, baik jumlah atau tebal maupun kualitasnya. Data hujan dikumpulkan dari stasiun penakar hujan yang diletakkan di yaitu di Kecamatan Gondomanan, di luar kota yang terletak di Desa Widodomartani dan Wedomartani, Kecamatan Ngemplak dan di desa Bangunjiwo dan desa Tirtonirmolo, Kecamatan Kasihan selama bulan Januari sampai dengan Maret 1996 (Gambar 1).

Sampel air hujan dikumpulkan selama bulan Januari sampai Maret 1996, masing-masing bulan diambil tiga buah sampel, sehingga keseluruhan dari setiap setasiun dikumpulkan sembilan sampel, dan secara keseluruhan dikumpulkan 54 buah sampel dari 6 stasiun hujan. Parameter kualitas air hujan yang diteliti meliputi pH, kekeruhan, SO_4, CO_2 dan Ca. Pada setiap kali pengambilan sampel air dicatat tebal hujan yang terjadi. Sampel air hujan dikumpulkan dari kejadiah hujan 1 hingga 2 hari hujan.

b. Analisis data

Dalam penelitian ini dilakukan analisis deskriptif komparatif menggunakan tabel sederhana untuk membandingkan kondisi air hujan pada masing-masing lokasi. Hubungan antara tebal hujan dengan kadar parameter kualitas air dianalisis menggunakan teknik korelasi, yang dilakukan pada masing-masing stasiun (perdesaan

dan kota) secara terpisah. hasil analisis disajikan dalam bentuk grafik agar mudah dibaca secara visual. Bahasan hasil analisis yang diperoleh didasarkan kepada teori untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air hujan, dengan didukung oleh data meteorologi, penggunaan lahan dan kondisi fisik yang lain.

HASIL PENELITIAN

a. Kualitas Air Hujan di Daerah Kota

Dalam bagian hasil penelitian ini dikemukakan hasil-hasil penelitian yang dipeoleh dari studi pustaka serta hasil penelitian yang dilakukan di Kota Yogyakarta dan sekitarnya. Dari berbagai penelitian yang dilakukan dapat diketahui bahwa kualitas air hujan di berbagai macam kota di dunia ternyata sangat bervariasi, namun demikian kota-kota yang termasuk kedalam kota yang mempunyai industri besar serta mempunyai kepadatan lalu lintas yang tinggi menunjukkan kualitas air hujan yang lebih buruk dibandingkan dengan kota-kota yang masih sedikit kegiatannya (Appelo, 1986). Beberapa kota di Indonesia berdasarkan penelitian ternyata mempunyai kecenderungan yang sama (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik Air Hujan di Jakarta. Medan dan Menado

Parameter	Jakarta	Medan	Manado	Cilegon
pH	5,58	5,78	5,78	-
SO mg/l	0,04	0,12	0,04	2,35
NO_3 mg/l	1,66	0,88	0,61	0,24
NH_3 mg/l	1,42	0,20	0,28	3,47

Sumber :Kantor Men.KLH, 1990
Sudarmadji dkk, 1996.

Kadar NO_3 dalam air hujan cukup tinggi, namum demikian kadar SO_4 masih tergolong rendah. pH air hujan sudah menunjukkan sifat yang asam (< 7,0). Kualitas air hujan di Cilegon menunjukkan kadar SO_4, NO_3 dan NH_3 yang tinggi, karena air hujan diambil pada permulaan hujan.

Di Kotamadya Yogyakarta, yang merupakan kota dengan ukuran lebih kecil dari Surabaya maupun Jakarta telah dilakukan penelitian terhadap air hujan, namun

juga termasuk daerah-daerah di luar kota sekitarnya. Hasil penelitian yang dilakukan Sudarmadji (1986) dan Asma Irma Setianingasih (1989) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis Air Hujan di Yogyakarta

Parameter	Brontokusuman YK - 1989	Condongcatur YK - 1989	Gondomanan YK - 1986	Ngampilan
DHL	98,36	21,21	13,1	23,2
µmhos/cm	6,01	6,4	7,4	7,2
pH	0,01	0,01	-	-
Na mg/l	0,001	0,001	-	-
K mg/l	0,49	0,47	2,04	1,33
Ca mg/l	0,10	0,11	1,35	1,00
Mg mg/l	0,11	0,11	1,59	1,32
Cl mg/l	0,08	0,10	0,06	0,10
SO_4 mg/l	0,04	0,02	0,185	0,133
NO_3 mg/l	12,04	22,41	-	-
HCO_3 mg/l	9,12	7,60	7,1	6,6
CO_2 mg/l				

Air hujan di pusat kota cenderung mempunyai kadar CO_2 yang tinggi, masing-masing sebesar 9,12 dan 7,60 mg/l di daerah Brontokusuman dan Catur Tunggal di Yogyakarta. Dalam daerah kota yang sama oleh Sudarmadji (1986) telah teramati CO_2 dalam air ujan di dalam kota berkisar antara 6,1 mg/l sampai 7,7 mg/l yang teramati di tiga lokasi. Di Indonesia air hujan masih mempunyai pH yang lebih besar dari 5,0 bahkan mendekati nilai 7,0

b. Kualitas Air Hujan di Luar Kota

Air hujan yang dikumpulkan di daerah luar kota cenderung mempunyai kadar pencemar yang lebih rendah dibandingkan dengan kadarnya pada air hujan yang jatuh di daerah kota. Yang dimaksud daerah luar kota di sini adalah daerah yang tidak memiliki industri yang membuang limbah gas. Beberapa sampel air hujan yang mencerminkan keadaan kualitas air hujan di daerah luar kota ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Air Hujan di Luar Kota

Parameter	Siluk Bantul	Godean Yogyakarta	Kalijarut Banyumas
DHL µmhos/cm	28,2	37,27	16,3
pH	6,61	6,01	5,95
Na mg/l	0,03	0,01	-
K mg/l	0,002	0,00	-
Ca mg/l	0,48	0,40	2,0
Mg mg/l	0,21	0,19	0,35
Cl mg/l	0,17	0,11	6,56
SO_4 mg/l	0,08	0,10	7,0
NO_3 mg/l	0,04	0,01	0,0
HCO_3 mg/l	0,50	0,60	23,33
CO_2 mg/l	3,04	3,04	6,0

Sumber :1 Setianingsih (1989)
2. Sudarmadji (1995)

c. Air Hujan di Daerah Pantai

Air hujan di daerah pantai sangat dipengaruhi oleh laut. Hal ini ditunjukkan dengan kualitas yang dimilikinya yang dicerminkan dengan kadar klorida, natrium dan kalium yang tinggi, yang semuanya bersumber dari air laut. Semakin jauh dari laut maka kadar zat kimia tersebut akan semakin berkurang. Beberapa sampel air hujan yang dikumpulkan dapat ditunjukkan pada Tabel 4. Kondisi sesaat pada waktu

hujan terjadi sangat menentukan hasil yang diperoleh, terlihat dari perbedaan yang mencolok antara kualitas air hujan di Parangtritis dan Adipala.

Tabel 4. Analisis Air Hujan di Daerah Pantai

Parameter	Parangtritis	Adipala Cilacap
DHL µmhos/cm	66,36	98,85
pH	6,96	7,05
Na mg/l	0,097	-
K mg/l	0,00	-
Ca mg/l	0,50	7,3
Mg mg/l	0,20	0,56
Cl mg/l	0,39	13,93
SO_4 mg/l	0,09	5,0
NO_3 mg/l	0,01	-
HCO_3 mg/l	0,80	24,3
CO_2 mg/l	3,56	11,6

Sumber: 1. Setianingsih (1989)
2. Sudarmadji (1975)

d. Air Hujan di Daerah Gunungapi

Beberapa sampel air hujan yang didapatkan di daerah Gunungapi dapat ditunjukkan pada Tabel 5. Air hujan yang jatuh di daerah gunungapi yang masih aktif diperkirakan memiliki kadar SO_4 yang tinggi, sebagai akibat aktivitas gunungapi tersebut. Hal ini memang tidak nampak secara mencolok, namun apabila dibandingkan dengan kualitas air hujan yang jatuh di daerah sekitarnya, air hujan menunjukkan bahwa kadar SO_4 di daerah dekat puncak gunungapi cenderung memiliki kadar SO_4 yang lebih tinggi.

Tabel 5. Analisis Air Hujan di Daerah Gunungapi

Parameter	Pakem	Plawangan	Baturaden
DHL µmhos/cm	91,65	68,71	-
pH	6,74	6,12	6,4
Na mg/l	0,00	0,00	-
K mg/l	0,00	0,00	-
Ca mg/l	0,47	0,44	1,2
Mg mg/l	0,09	0,06	3,24
Cl mg/l	0,11	0,11	6,0
SO4 mg/l	0,14	0,15	0,0
NO3 mg/l	0,03	0,03	-
HCO3 mg/l	0,59	0,55	20,0
CO2 mg/l	3,04	1,52	-

Sumber: 1 Setianingsih (1995)
2 Sudarmadji (1989)

e. Kualitas Air Hujan dan Sifat Hujan

Dalam mengkaji kaitan antara kualitas air hujan dengan sifat hujan dilakukan penelitian di Kota Yogyakarta dan sekitarnya dengan mengambil 6 stasiun, 2 buah terletak di dalam kota (Kecamatan Gondomanan) dan 4 buah terletak di luar kota (Kecamatan Ngemplak dan Kecamatan Kasihan).

Kualitas air hujan yang diambil di masing-masing stasiun pengamat hujan secara keseluruhan diberikan pada Lampiran 1 hingga Lampiran 6. Rata-rata kualitas air hujan pada masing-masing stasiun ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan atas lokasinya diuraikan hasil kualitas air hujan yang menunjukkan perbedaan kadar parameter kualitas air di daerah penelitian sebagai berikut.

Tabel 6. Kualitas Air Hujan Rata-rata di Kotamadya dan Sekitarnya

Lokasi	pH	Kekeruhan (FTU)	SO_4 (mg/l)	SO_2 (mg/l)	Ca (mg/l)
Kec. Ngemplak					
Wedomartani	7,29	0,72	1,97	4,67	1,64
Widodomartani	6,99	0,76	2,47	5,98	1,83
Daerah Kotamadya					
Kec. Gondomanan (A)	7,13	3,43	10,38	9,00	3,94
Kee. Gondomanan (B)	7,08	2,55	7,87	7,80	2,97
Kee. Kasihan					
Tirtonirmolo	7,10	1,99	4,90	6,67	2,12
Bangunjiwo	7,13	1,97	2,20	6,17	1,91

Derajat keasaman (pH) air hujan di daerah perdesaan dan daerah kota tidak menunjukkan perbedaan. Di Kecamatan Ngemplak air hujan mempunyai pH rata-rata 7,29 dan 6,29, di daerah kota sebesar 7,13 dan 7,08, sedang di daerah Kecamatan Kasihan pH rata-rata air hujan sebesar 7,10 dan 7,12.

Kekeruhan rata-rata di daerah perdesaan Ngemplak pada 2 stasiun masing-masing adalah 0,72 dan 0,76 FTU, sedang di daerah kota mencapai 3,43 dan 2,33 FTU. Di daerah perdesaaan di selatan kota yaitu di Keeamatan Kasihan diperoleh kekeruhan air hujan rata-rata 1,09 FTU dan 1,97 FTU. Jadi jelas bahwa angka kekeruhan air hujan di daerah perkotaan lebih tinggi dibandingkan dengan kekeruhan air hujan yang di daerah perdesaan.

Sulfat (SO_4) tidak diteliti pada seluruh sampel yang diambil. Walaupun demikian dari hasil yang diperoleh dapat diberikan gambaran kadar SO_4 dalam air hujan di daerah penelitian. Di daerah perdesaan di utara kota diperoleh kadar rata-rata SO_4 sebesar 1,97 ppm dan 1,37 ppm, di daerah kota sebesar 4,61 ppm dan 2,62 ppm, di daerah perdesaan di sebelah baratdaya kota sebesar 1,63 ppm dan 2,20 ppm. Hujan yang jatuh di daerah kota secara umum mempunyai kadar SO4 lebih tinggi daripada hujan yang jatuh di luar kota.

Karbondioksida (CO_2) dalam air hujan di daerah perdesaan Kecamatan Ngemplak mempunyai kadar rata-rata 4,67 ppm dan 5,98 ppm. Di daerah kota air

hujan mempunyai kadar rata-rata sebesar 9,00 mg/l dan 7,90 mg/l, sedang di daerah perdesaan Kecamatan Kasihan air hujan mempunyai kadar CO_2 rata-rata sebesar 6,67 mg/l dan 6,17 mg/l. Dengan demikian jelas terlihat bahwa kadar CO_2 dalam air hujan di daerah kota lebih tinggi daripada kadar CO_2 dalam air hujan yang jatuh di daerah perdesaan. Kadar Kalsium (Ca) rata-rata dalam air hujan di Kecamatan Ngemplak sebesar 1,64 mg/l dan 1,83 mg/l. Di daerah kota sebesar 3,94 dan 2,97 mg/l. Di Kecamatan Kasihan kadar Ca dalam air hujan sebesar 2,12 mg/l dan 1,91 mg/l. Dengan fakta ini jelas terlihat bahwa kadar Ca dalam air hujan di daerah kota lebih tinggi daripada kadar Ca dalam air hujan yang jatuh di daerah perdesaan.

Tebal hujan berpengaruh terhadap kadar zat kimia yang ada di dalamnya. Oleh karena itu, pada masing-masing stasiun dilakukan analisis korelasi antara tebal hujan dan kadar zat kimia atau sifat fisik lain. Matriks korelasi ini ditunjukkan pada pada Tabel 7 hingga Tabel 9 yang menunjukkan angka antara tebal hujan dengan kadar parameter kualitas air untuk daerah pedesaan dan daerah kota.

Tabel 7. Matriks Korelasi Antar Variabel Sifat Hujan di Daerah Pedesaan Kecamatan Ngaglik

	Tebal	pH	(FTU)	SO_4	CO_2	Ca
Tebal	1.0000					
pH	0.5487	1.0000				
FTU	-0.2765	-0.1107	1.0000			
SO_4	-0.5060	-0.2275	0.5399	1.0000		
CO_2	-0.4429	-0.753	0.5512	0.9696	1.0000	
Ca	-0.5901	-0.1787	0.4954	0.9679	0.9318	1.0000

Tabel 8. Matriks Korelasi Antar Variabel Sifat Hujan di Daerah Kotamadya Yogyakarta

	Tebal	pH	(FTU)	SO_4	CO_2	Ca
Tebal	1.0000					
pH	-0.0246	1.0000				
FTU	-0.7417	0.1059	1.0000			
SO_4	-0.9717	-0.1845	0.7073	1.0000		
CO_2	-0.7917	-0.0720	0.4793	0.3826	1.0000	
Ca	-0.8454	-0.2073	0.7235	0.9593	0.3612	1.0000

Tabel 9. Matriks Korelasi Antar Variabel Sifat Hujan di Daerah Perdesaan Kecamatan Kasihan

	Tebal	pH	(FTU)	SO_4	CO_2	Ca
Tebal	1.0000					
pH	0,2574	1.0000				
FTU	-0,8622	-0,3794	1.0000			
SO_4	-0,7831	-0,4045	0,8239	1.0000		
CO_2	-0,8545	-0,2615	0,9162	0,9224	1.0000	
Ca	-0,7997	-0,3520	0,9431	0,8372	0,9307	1.0000

Dari tabel korelasi matriks (Tabel 7 hingga Tabel 9) terlihat bahwa makin tinggi tebal hujan makin rendah kadar parameter kualitas air. Makin tebal hujan menunjukkan kecenderungan hujan makin asam, berarti bahwa kota Yogyakarta adanya debu menyebabkan kadar Ca meningkat dan menyebabkab air hujan menjadi basis. Hubungan kadar zat kimia dengan tebal hujan menunjukkan angka negatif, berarti bahwa semakin tebal hujan semakin rendah kadar zat kimia di dalamnya.

PEMBAHASAN

Air hujan ternyata menunjukkan komposisi yang berbeda-beda antara satu tempat dengan tempat yang lain. Dalam air hujan tersebut telah dilarutkan berbagai zat kimia, yang kadarnya secara tidak langsung dapat diketahui dari nilai DHL dalam air hujan tersebut. Karakteristik komposisi air hujan berbeda antara daerah-daerah kota, daerah pedesaan, daerah pantai, daerah pedalaman, khususnya volkan. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh proses yang menyebabkan terjadinya hujan itu sendiri dan juga kadar zat kimia yang dilarutkan ketika hujan jatuh ke permukaan tanah. Daerah-daerah dekat pantai mempunyai air hujan dengan kadar klorid yang relatif tinggi. Tingginya kadar Cl pada air hujan di daerah pantai pasti berkaitan erat dengan air laut. Makin jauh ke daratan kadar Cl makin berkurang, namun di daerah gunungapi kadar SO_4 mendominasi kadar zat kimia dalam air hujan di daerah itu. Kadar SO_4 yang tinggi berkaitan dengan gas yang dikeluarkan oleh gunungapi aktif. Penelitian di atas juga menunjukkan kecenderungan yang sama, namun demikian arah angin berpengaruh terhadap persebaran gas tersebut.

Di daerah kota dan sekitarnya air hujan juga menunjukkan kadar zat kimia yang tinggi terutama adalah kadar CO_2 dan NO_3. Tingginya kadar zat kimia tersebut, khususnya CO_2 nampaknya disebabkan oleh gas buang dari kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor mengeluarkan CO_2 dan CO yang selanjutnya di udara bebas akan berubah menjadi CO_2. Ketika hujan jatuh di daerah kota gas tersebut larut di dalam air hujan tersebut. Jauh di luar kota kadar CO_2 akan berkurang dan juga ditunjukkan oleh kadar CO_2 yang lebih rendah dalam air hujan yang jatuh di luar kota. Parameter yang lain seperti Ca, Mg, Na, dan K masih sulit untuk diperbandingkan, pH air hujan tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok, namun penelitian yang dilakukan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika yang didapatkan dari Kantor Menteri KLH (1990), air hujan di daerah kota besar (Jakarta, Medan dan Manado) mulai menunjukkan kecenderungan semakin turun, dengan kata lain sudah terjadi gejala hujan asam. Perbedaan waktu penelitian antara peneliti yang satu dengan peneliti yang lain sering menunjukkan perbedaan hasil yang sangat mencolok, yang menyebabkan sulitnya melakukan analisis serta interpretasi.

Dari penelitian yang dilakukan di Yogyakarta ini dapat diketahui bahwa kualitas air hujan di daerah kota lebih jelek dibandingkan dengan kualitas air yang jatuh di daerah perdesaan, baik yang terletak di sebelah selatan maupun di sebelah utara kota. Hal ini diperkirakan ada kaitannya dengan kegiatan perkotaan.

Di daerah kota kepadatan lalu lintas lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan, tutupan vegetasinya kurang rapat dibandingkan dengan daerah pedesaan. Lalu-lintas kendaraan bermotor berpotensi menghasilkan CO_2 serta debu. Karbondioksida bersumber dari hasil pembakaran bahan bakar fosil (Dix, 1981). Kendaraan bermotor dapat menghasilkan emisi CO bila pembakaran tidak berlangsung sempurna. Selanjutnya CO dapat teroksidasi menjadi CO_2. Memang CO_2 tidak diperhitungkan sebagai pencemar udara, tetapi bila kadar CO_2 di udara dalam daerah kota tinggi, dimungkinkan CO hasil emisi kendaraan bermotor tinggi pula. Debu bersumber dari tanah dapat juga dari knalpot kendaraan bermotor dalam bentuk *particulate matter* yang dapat terbawa angin. Vegetasi dapat berfungsi sebagi filter bagi debu yang timbul. Dengan demikian kedua hal ini sangat berpengaruh terhadap kadar debu dan kadar CO_2 di dalam air hujan. Debu yang terbawa air hujan dapat larut di dalam air hujan tersebut, sehingga terdapat hubungan positif antara air

hujan dengan kadar SO_4 maupun kadar Ca. Hal serupa dikemukakan oleh Chapman (1992) yang menyebutkan bahwa debu hasil erosi angin kaya akan Ca, HCO_3 dan SO_4.

Faktor lain yang diperkirakan sangat berpengaruh adalah kondisi meteorologi, terutama arah angin yang menyebabkan pencemar dapat tersebar jauh dari sumbernya. Zat pencemar yang terdapat dalam udara di daerah kota lebih tinggi dibandingkan dengan kadarnya dalam air hujan di daerah perdesaan. Faktor angin menyebabkan tersebarnya zat pencemar ke arah luar kota, walaupun kadarnya menjadi lebih rendah. Daerah di sebelah selatan Kotamadya Yogyakarta mempunyai kadar zat pencemar dalam air hujan yang lebih rendah dibandingkan dengan kadarnya di daerah sebelah utara Kotamadya Yogyakarta, karena pada saat penelitian dilakukan angin lebih dominan bertiup ke arah baratdaya. Oleh sebab itu kualitas air hujan di daerah Kecamatan Kasihan lebih banyak terpengaruh oleh kegiatan kotamadya dibandingkan di daerah Kecamatan Ngemplak.

Terlihat pula pengaruh kegiatan kota, yang lebih beragam dibandingkan dengan daerah perdesaan telah berpengaruh terhadap kualitas air hujan, walaupun baru dianalisis dari beberapa parameter kualitas air. Sifat hujan terutama tebal hujan, berpengaruh terhadap tingginya kadar pencemar di dalam air hujan tersebut. Makin tinggi total hujan makin mudah kadar pencemaran di dalam air hujan, baik di daerah perdesaan maupun di daerah kota. Dengan fakta yang diperoleh di atas berarti bahwa air hujan sebagai masukan dalam sistem hidrologi (termasuk dalam sistem hidrologi kota) telah mengandung berbagai zat pencemar yang merupakan pula masukan pencemar dalam sistem hidrologi daerah aliran sungai, tarmasuk daerah perkotaan.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

1. Air hujan di berbagai tempat, baik di pantai, di daerah volkan, di daerah pedesaan dan daerah kota telah mengandung zat kimia yang larut di dalamnya, selain dapat diketahui dari hasil analisis parameter kualitas air, hal ini dapat ditunjukkan dengan nilai DHL dalam air hujan tersebut. Nilai DHL dalam air hujan tersebut

bervariasi dari satu tempat ke tempat lain, dari lebih rendah 25μmhos/cm hingga mendekati 100μmhos/cm.

2. Air hujan yang jatuh di daerah-daerah tertentu mempunyai perbedaan kualitas yang dipengaruhi oleh kondisi daerah dimana hujan tersebut jatuh. Daerah pantai mempunyai ciri kadar Cl yang tinggi, sedangkan di daerah volkan dicirikan dengan kadar SO_4 yang tinggi. Daerah urban dicirikan dengan kadar CO_2 dan NO_3 yang tinggi.

3. Kualitas air hujan di dalam daerah kota lebih jelek dibandingkan dengan kualitas air hujan di daerah perdesaan di sekitarnya, disebabkan oleh lebih banyaknya kegiatan yang mengjhasilkan pencemar gas yang selanjutnya berpengaruh terhadap kualitas air hujan yang jatuh di daerah tersebut.

4. Kualitas air hujan baik di daerah kota maupun di daerah perdesaan dipengaruhi oleh tebal hujan. Makin tebal hujan yang jatuh di daerah yang bersangkutan semakin baik kualitas air hujan di daerah tersebut. Makin tebal curah hujan makin rendah kekeruhan air hujan, makin rendah pula kadar SO_4, CO_2 dan Ca dalam air hujan tersebut. Kualitas air hujan yang lebih jelek diperkirakan terjadi pada awal periode kejadian hujan.

5. Arah dan kecepatan angin berpengaruh terhadap hujan di tempat yang dilewatinya. Daerah yang dilewati angin yang berasal dari sumber pencemar akan lebih jelek daripada kualitas air hujan di daerah luar kota yang tidak dilewati angin yang membawa pencemar.

6. Debu yang terbawa di dalam air hujan sebagian larut didalam air hujan tersebut yang selanjutnya menyebabkan kadar zat kimia terlarut di dalamnya tinggi; debu tersebut dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain dari kendaraan bermotor dan dari tanah yang teraduk dan terbawa angin. Makin tinggi kekeruhan menunjukkan makin tinggi kadar debu yang tersuspensi, dan makin tinggi pula kadar Ca dan SO_4 yang terlarut dalam air hujan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Appelo, T. 1986. *Hydrochemistry. Lecture Note in Hydrochemistry,* Faculty of Geography, Gadjah Mada University, Yogyakarta.

Asma Irma Setianingsih, 1989. Kualitas Air Hujan dari Pantai Parangtritis sampai Puncak Gunungapi Merapi dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya. *Skripsi Sarjana Program SI*, Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta.

Bryan, E.H., 1972. Quality of Stormwater Runoff Drainage from Urban Land. *Water Resources Bulletin,* 8:578-588.

Carrol, D., 1962. Rainwater as A Chemical Agent of Geologic Processes, A Review. *Geological Survey Water Supply Paper*, 1535-G.

Chapman, D., 1992. *Water Quality Assessment.* Chapman and Hall, London.

Dix, H.M., 1981. *Environmental Pollution.* John Wiley and Sons, New York.

Hem, J.D., 1970. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. *US. Geological Survey Water Supply Paper, No. 1473.* Government Printing Office, Washington DC.

Kantor Menteri KLH, 1990. *Kualitas Lingkungan di Indonesia 1990.* Kantor Menteri KLH, Jakarta.

Manahan, S.N., 1977. *Environmental Chemistry.* Willard Grant Press, Boston.

Sudarmadji, 1975. Analisa Unit Kualitas Airtanah di Daerah Aliran Kali Serayu. *Skripsi Sarjana Fakultas Geografi UGM,* Yogyakarta.

Sudarmadji, 1995. Beberapa Aspek Hidrokimia Hutan Pinus. *Majalah Geografi Indonesia* No. 16 Tahun 10. September 1995.

Sudarmadji, M. Fahrudin dan Eko Harsono, 1997. Sumber Logam Pencemar pada Air Limpasan di Daerah Urban. *Laporan Teknis*, Litbang Teknologi Pendayagunaan Rehabilitasi Hidrologi Urban, Puslitbang Limnologi, LIPI, Bogor.

Sudarmadji dan Krisna Dewi, 1997. Perbandingan Kualitas Air Hujan di Kotamadya Yogyakarta dan Daerah Perdesaan Sekitarnya. *Manusia dan Lingkungan,* PPLH-UGM, Yogyakarta.

Lampiran 1. Kualitas Air Hujan di Desa Wedomartani Kecamatan Ngemplak

PERIODE	Tebal (mm)	pH	Kekeruhan (FTU)	SO_4 (mg/l)	CO_2 (mg/l)	Ca (mg/l)
JANUARI I	31.80	7.05	0.90	3.20	6.50	2.65
II	59.70	7.65	0.80	2.20	5.50	2.25
III	49.80	7.38	0.65	1.40	4.00	1.95
FEBRUARI I	59.70	7.22	0.75	4.10	5.50	2.00
II	79.60	7.47	0.82	0.06	3.00	0.72
III	89.50	7.18	0.65	0.90	3.50	0.50
MARET I	69.60	7.30	0.65	1.20	4.00	1.25
II	81.60	7.22	0.53	0.55	3.50	0.60
III	34.80	7.14	0.70	4.10	6.50	2.80
Rata-rata	61.79	7.29	0.72	1.97	0.9307	1.64

Lampiran 2. Kualitas air hujan di Widodomartani Kecamatan Ngemplak

PERIODE	Tebal (mm)	pH	Kekeruhan (FTU)	SO_4 (mg/l)	CO_2 (mg/l)	Ca (mg/l)
JANUARI I	53.70	6.94	0.85	3.60	6.00	2.35
II	50.70	7.04	0.90	2.70	6.80	2.40
III	37.80	6.97	0.80	3.70	9.50	1.30
PEBRUARI I	34.80	7.02	0.73	0.66	3.00	0.78
II	44.70	7.01	0.75	1.70	8.50	2.10
III	41.80	7.04	0.70	-	5.50	2.00
MARET I	43.80	6.96	0.75	-	5.50	2.05
II	39.80	6.94	0.70	-	5.00	2.00
III	38.00	7.03	0.66	-	4.00	1.50
Rata-rata	42.79	6.99	0.76	2.47	5.98	1.83

Lampiran 2. Kualitas air hujan di kecamatan Gondomanan (A)

PERIODE	Tebal (mm)	pH	Kekeruhan (FTU)	SO_4 (mg/l)	CO_2 (mg/l)	Ca (mg/l)
JANUARI I	55.70	6.86	4.21	13.00	10.50	4.40
II	59.70	7.07	3.31	24.00	8.50	3.75
III	63.70	7.15	4.03	-	9.50	4.10
PEBRUARII	59.70	7.25	3.93	1.70	8.50	3.90
II	69.60	7.01	2.02	-	8.00	3.50
III	59.60	7.27	2.98	-	8.50	3.70
MARETI	69.70	7.03	2.92	2.80	9.50	4.00
II	59.70	7.29	3.97	-	9.00	4.10
III	54.70	7.27	3.50	-	9.00	4.00
Rata-rata	61.34	7.13	3.43	13.38	9.00	3.94

Lampiran 3. Kualitas Air Hujan di Kecamatan Gondomanan (B)

PERIODE	Tebal (mm)	pH	Kekeruhan (FTU)	SO_4 (mg/l)	CO_2 (mg/l)	Ca (mg/l)
JANUARI I	69.60	6.84	2.25	8.00	8.00	3.65
II	74.60	6.94	3.04	-	8.50	3.85
III	67.60	7.05	2.92	-	8.50	3.80
FEBRUARII	81.60	7.12	2.41	6.50	7.50	2.50
II	53.70	7.20	3.70	-	8.00	3.45
III	89.50	7.31	1.98	-	7.50	2.40
MARET I	79.60	7.05	2.75	9.10	7.50	2.30
II	84.60	7.20	1.97	-	7.50	2.40
III	89.50	7.01	1.93	-	7.20	2.35
Rata-rata	76.70	7.08	2.55	7.87	7.80	2.97

Lampiran 5. Kualitas Air Hujan di Desa Tirtonirmolo Kecamatan Kasihan

PERIODE	Tebal (mm)	pH	Kekeruhan (FTU)	SO_4 (mg/l)	CO_2 (mg/l)	Ca (mg/l)
JANUARI I	41.80	6.82	2.99	4.10	8.50	3.40
II	49.70	7.02	2.62	-	8.00	3.20
III	59.80	7.15	2.50	-	7.50	3.00
FEBRUARII	61.70	7.25	2.25	2.10	7.50	2.70
II	69.60	7.02	1.95	-	7.00	2.50
III	73.60	7.02	1.70	-	6.50	2.25
MARET I	69.60	7.29	1.52	-	5.50	0.97
II	69.60	7.03	1.30	-	5.00	0.70
III	71.60	7.30	1.10	8.50	4.50	0.40
Rata-rata	61.79	7.10	1.99	4.90	6.67	2.12

Lampiran 5. Kualitas Air Hujan di Bangunwijo Kecamatan Kasihan

PERIODE	Tebal (mm)	pH	Kekeruhan (FTU)	SO_4 (mg/l)	CO_2 (mg/l)	Ca (mg/l)
JANUARII	49.70	7.25	2.70	1.70	7.50	3.00
II	44.80	7.10	2.80	-	7.50	3.20
III	53.80	7.27	1.75	-	6.50	2.10
FEBRUARII	59.70	6.94	2.50	2.70	7.00	2.30
II	69.60	6.96	2.40	-	7.50	2.79
III	69.60	7.21	2.00	-	7.50	2.50
MARET I	69.60	7.10	1.20	-	4.50	0.55
II	89.50	7.10	0.95	-	3.50	0.35
III	79.60	7.20	4.42	-	4.00	0.40
Rata-rata	64.00	7.13	1.97	2.20	6.17	1.91